

# PBG 结构在微带有源天线中的应用<sup>1</sup>

闫敦豹 袁乃昌 张光甫 付云起

(国防科技大学光子晶体研究中心 长沙 410073)

**摘要** 微带有源天线的应用具有降低通信系统的复杂度、减小系统尺寸的优点，但由于天线与有源器件集成在一起，有源器件产生的谐波可以引起天线的伪辐射。本文研究了 PBG(Photonic Band-Gap) 结构在有源天线中的应用。计算和实验结果都表明 PBG 结构的应用可以大大降低谐波引起的辐射，从而改善了系统的性能。

**关键词** 有源天线，伪辐射，光子晶体，PBG 结构，FDTD

中图号 TN823

## 1 引言

光子晶体的概念最初是在光学领域中提出，是指具有光子带隙 (PBG, Photonic Band-Gap) 特性的人造周期性电介质结构。随着对光子晶体的研究的不断深入，光子晶体已经深入到微波和毫米波领域，并且已应用到微波电路、天线等许多方面，利用其带阻特性，可以实现宽带滤波<sup>[1]</sup>，提高放大器效率，改善天线的方向图<sup>[2,3]</sup>。PBG 结构就是可以实现光子带隙的周期性结构。在微带电路中，这种 PBG 结构的实现有两种方法，一种是在介质基片上沿微带线的纵向周期性地挖出小圆柱体单元 (没有穿透接地面)，使得在介质基片上形成小圆柱孔的周期性排列；另一种方法是在接地面也是沿微带线方向腐蚀掉成周期性排列的小孔 (保持介质基片不变)。本文研究了利用第二种方法实现的 PBG 结构在微波有源天线中的应用，目的是抑制谐波的辐射。

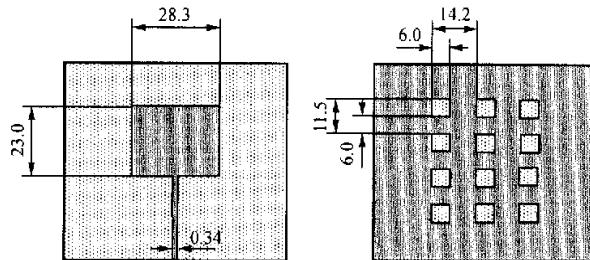


图 1 PBG 结构天线示意图 (单位: mm)

有源微带天线直接把有源器件集成在天线基片上，从结构上讲，天线已不仅仅是一个辐射器，而且还是一个谐振器，是整个有源电路的组成部分。由于有源天线具有小型化、高增益、电路简单、结构紧凑等显著的优点，在通信系统中，它的应用十分广泛。但同时因为有源天线本身与有源器件集成在一起，由于有源器件的非线性而产生的谐波也通过天线被辐射出去，形成天线的伪辐射，当然这些谐波成分是位于贴片天线的谐振频率点。利用 PBG 结构的带阻特性，在天线贴片底部和馈线底部同时应用接地板打孔式的 PBG 结构 (图 1)，使天线工作频率的二次谐波或二次和三次谐波同时位于 PBG 结构的阻带范围之内，这样可以显著地抑制谐波产生的伪辐射，从而提高了天线的性能。

<sup>1</sup> 2002-01-10 收到，2002-06-10 改回

## 2 天线的设计

依据一般贴片天线的设计方法设计了一个普通的矩形贴片天线，贴片宽度为 28.3mm，长度为 23.0mm，天线的工作频率为 3.93GHz。用 FDTD 计算时，未加阻抗变换段，而是直接用微带线进行馈电，微带线的特性阻抗等于天线的输入阻抗 ( $135\Omega$ )，线宽为 0.34mm。在实际制作天线中，加入了  $1/4$  波长阻抗变换段，使馈电点处的输入阻抗为  $50\Omega$ ，阻抗变换段长度为 12.0mm，线宽为 1.16mm，而  $50\Omega$  阻抗线的线宽为 2.71mm。PBG 结构的位置如图 1 所示，在贴片宽度方向上 PBG 结构的周期为 14.2mm，而在长度方向上的周期为 11.5mm，PBG 结构单元采用方形孔，其边长为 6mm。图 2 为制做的天线实物图。

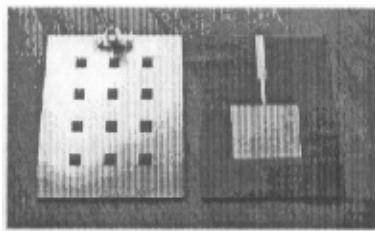


图 2 PBG 结构天线实物图

## 3 计算与实验结果

本文所有的计算结果是用 FDTD 数值方法计算所得，应用 PML 吸收边界条件，微带馈线深入到 PML 内部，加高斯脉冲激励，然后进行 Fourier 变换，进而得到其  $S_{11}$  参数。实验数据是用 Wiltron 5447A 标量网络分析仪测得的。

图 3 是通过实验测得的回波损耗。从图中分析可以明显看出，应用了 PBG 结构的天线的谐振频率在 3.8GHz 左右，发生了偏移，这是因为 PBG 结构的引入使传输波的波导波长减小，而天线尺寸保持未变，使天线的谐振频率降低。进行比较可以看出，应用了 PBG 结构的天线在谐波处的回波损耗明显降低，但在二次谐波附近还是存在较弱的辐射，这主要是由于 PBG 结构开孔的尺寸较小，其阻带深度不够造成的。如果增大开孔的尺寸，可以更好地抑制二次谐波的辐射，但后面会分析到，开孔尺寸的增大会引起较强的后向辐射。

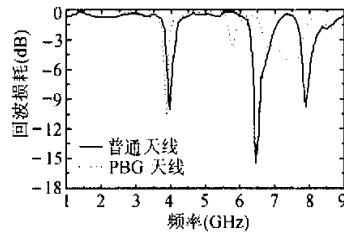


图 3 两种天线的回波损耗

图 4 是应用了 PBG 结构的贴片天线的接地面与贴片面的场分布的灰度图。图中所示的平面包含了 FDTD 的整个计算区域，最外层为 PML 层。此时的场分布是激励为 3.8GHz 的正弦波时 FDTD 程序执行到第 6600 个时间步时的场分布。

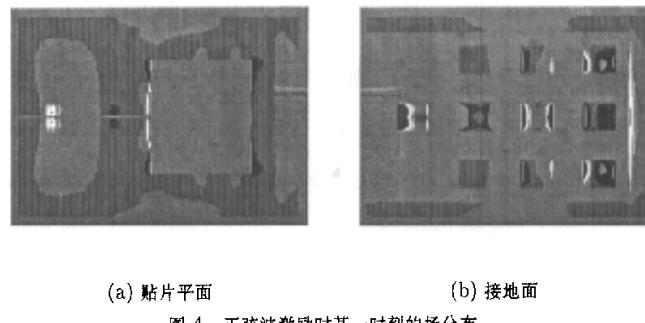


图 4 正弦波激励时某一时刻的场分布

图 5 是一般贴片天线的 H 面的方向图, 而图 6 是应用了 PBG 结构的天线的 H 面的方向图, 激励源均是正弦波, 其中实线表示工作频率, 虚线表示二次谐波频率。由于引入 PBG 结构以后, PBG 天线的谐振频率发生偏移, 所以两种天线所加激励的频率也不同。普通天线加的激励分别是 3.93GHz(工作频率) 和 7.86GHz(二次谐波频率), 而 PBG 天线加的激励分别是 3.8GHz(工作频率) 和 7.6GHz(二次谐波频率)。由这两种不同结构天线的方向图可以看出, PBG 结构天线可以明显地抑制谐波的辐射。但由于采用的是接地板打孔形式的 PBG 结构天线, 电磁波可以通过接地板上的方孔形成背向辐射, 这使得 PBG 结构天线的主辐射方向的幅度降低, 而且增强了背向的辐射。这实际上引出一个矛盾, 如果要更好地抑制谐波的辐射, 依据对 PBG 结构阻带特性的研究结果, 需要加大开孔的尺寸, 而反面影响就是加大了背向辐射。在对谐波抑制满足一定要求的前提下, 可以适当减小开孔的尺寸, 从而最低限度地减小对背向辐射的增强。

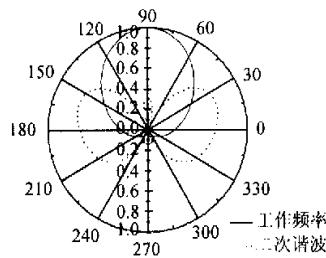


图 5 普通贴片天线

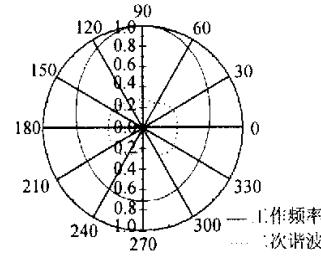


图 6 PBG 结构天线

#### 4 结 论

通过用 FDTD 数值计算方法的计算以及对实际天线的测量, 对微波有源天线方面 PBG 结构的应用得出如下结论:

- (1) 应用 PBG 结构以后, 被应用的有源天线的工作频率有可能发生偏移, 本文中研究的微带贴片天线就是一个例子, 所以在设计应用 PBG 结构时要考虑到实际的工作频率。例如设计 PBG 结构天线时, 若按一般方法设计, 必须使设计时的频率高于其实际的工作频率。
- (2) 微带天线中, PBG 结构的引入可以有效地降低有源天线的谐波辐射, 但会产生一个负面影响, 除会使天线主辐射方向辐射减弱以外, 还会使天线的背向辐射增强, 适当减小接地板

开孔的尺寸可在一定程度上解决这个问题。若采用介质穿孔形式的 PBG 结构可从本质上解决这个问题，但是会增加天线制作的复杂度。

### 参 考 文 献

- [1] V. Radisic, Yongxi Qian, R. Coccioni, et al., Novel 2-D photonic bandgap structure for microstrip lines, IEEE Microwave Guided Wave Lett., 1998, 8(2), 69–71.
- [2] Yasushi Horii, Makoto Tsutsumi, Harmonic control by photonic bandgap on microstrip patch antenna, IEEE Microwave Guided Wave Lett., 1999, 9(1), 13–15.
- [3] Joseph S. Colburn, Yahya Rahmat-Samii, Patch antennas on externally perforated high dielectric constant substrates, IEEE Trans. on Antennas Propagation, 1999, 47(12), 1785–1794.

## THE APPLICATION OF PBG STRUCTURE TO MICROWAVE ACTIVE ANTENNA

Yan Dunbao Yuan Naichang Zhang Guangfu Fu Yunqi

(PCs Research Center, NUDT, Changsha 410073, China)

**Abstract** In communication systems, the application of microstrip active antenna is useful for the simplification and downsizing of the system. But because the antenna is integrated with active devices, the harmonics produced by the active devices can result in the spurious radiation of the antenna. In this paper, the application of PBG(Photonic Band-Gap) structure to the active antenna is studied, and the calculated result and experimental result all indicate that the application of PBG structure can drastically diminish the radiation of harmonics, so the performance of system is improved.

**Key words** Active antenna, Spurious radiation, Photonic crystals, PBG structure, FDTD

闫敦豹：男，1976 年生，博士生，目前主要从事光子晶体天线的研究。

袁乃昌：男，1965 年生，博士生导师，目前主要从事目标特性、超宽带电磁学及电磁兼容的研究。

张光甫：男，1974 年生，博士生，目前主要从事 FDTD 算法的研究。

付云起：男，1975 年生，博士生，目前主要从事光子晶体方面的研究。

## 如何学习天线设计

天线设计理论晦涩高深，让许多工程师望而却步，然而实际工程或实际工作中在设计天线时却很少用到这些高深晦涩的理论。实际上，我们只需要懂得最基本的天线和射频基础知识，借助于 HFSS、CST 软件或者测试仪器就可以设计出工作性能良好的各类天线。

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))专注于微波射频和天线设计人才的培养，推出了一系列天线设计培训视频课程。我们的视频培训课程，化繁为简，直观易学，可以帮助您快速学习掌握天线设计的真谛，让天线设计不再难…

---



### HFSS 天线设计培训课程套装

套装包含 6 门视频课程和 1 本图书，课程从基础讲起，内容由浅入深，理论介绍和实际操作讲解相结合，全面系统的讲解了 HFSS 天线设计的全过程。是国内最全面、最专业的 HFSS 天线设计课程，可以帮助你快速学习掌握如何使用 HFSS 软件进行天线设计，让天线设计不再难…

课程网址: <http://www.edatop.com/peixun/hfss/122.html>

---

### CST 天线设计视频培训课程套装

套装包含 5 门视频培训课程，由经验丰富的专家授课，旨在帮助您从零开始，全面系统地学习掌握 CST 微波工作室的功能应用和使用 CST 微波工作室进行天线设计实际过程和具体操作。视频课程，边操作边讲解，直观易学；购买套装同时赠送 3 个月在线答疑，帮您解答学习中遇到的问题，让您学习无忧。

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/cst/127.html>

---



### 13.56MHz NFC/RFID 线圈天线设计培训课程套装

套装包含 4 门视频培训课程，培训将 13.56MHz 线圈天线设计原理和仿真设计实践相结合，全面系统地讲解了 13.56MHz 线圈天线的工作原理、设计方法、设计考量以及使用 HFSS 和 CST 仿真分析线圈天线的具体操作，同时还介绍了 13.56MHz 线圈天线匹配电路的设计和调试。通过该套课程的学习，可以帮助您快速学习掌握 13.56MHz 线圈天线及其匹配电路的原理、设计和调试…

详情浏览: <http://www.edatop.com/peixun/antenna/116.html>



## 关于易迪拓培训:

易迪拓培训([www.edatop.com](http://www.edatop.com))由数名来自于研发第一线的资深工程师发起成立，一直致力于专注于微波、射频、天线设计研发人才的培养；后于 2006 年整合合并微波 EDA 网([www.mweda.com](http://www.mweda.com))，现已发展成为国内最大的微波射频和天线设计人才培养基地，成功推出多套微波射频以及天线设计经典培训课程和 **ADS**、**HFSS** 等专业软件使用培训课程，广受客户好评；并先后与人民邮电出版社、电子工业出版社合作出版了多本专业图书，帮助数万名工程师提升了专业技术能力。客户遍布中兴通讯、研通高频、埃威航电、国人通信等多家国内知名公司，以及台湾工业技术研究院、永业科技、全一电子等多家台湾地区企业。

## 我们的课程优势:

- ※ 成立于 2004 年，10 多年丰富的行业经验
- ※ 一直专注于微波射频和天线设计工程师的培养，更了解该行业对人才的要求
- ※ 视频课程、既能达到了现场培训的效果，又能免除您舟车劳顿的辛苦，学习工作两不误
- ※ 经验丰富的一线资深工程师主讲，结合实际工程案例，直观、实用、易学

## 联系我们:

- ※ 易迪拓培训官网: <http://www.edatop.com>
- ※ 微波 EDA 网: <http://www.mweda.com>
- ※ 官方淘宝店: <http://shop36920890.taobao.com>